

PUB-NO: EP000419723A1
DOCUMENT-IDENTIFIER: EP 419723 A1
TITLE: Method and interrupt controller for treating i/o operation interrupt requests in a virtual machine system.
PUBN-DATE: April 3, 1991

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
WEITZSCH, JUERGEN	DE
SPREEN, HADO DR	DE

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SIEMENS AG	DE

APPL-NO: EP89118082
APPL-DATE: September 29, 1989

PRIORITY-DATA: EP89118082A (September 29, 1989)

INT-CL (IPC): G06F013/10 , G06F013/24

EUR-CL (EPC): G06F013/10 , G06F013/24

ABSTRACT:

To reduce the complexity and the time losses due to switching on the hypervisor, interrupt requests of the input/output system (IOS) are managed by a central interrupt control (UB-ST) to which all interrupt requests from the input/output system (IOS) are supplied ordered in accordance with identity codes (VMID) of the associated virtual

machine (VM...) and of the respective interrupt class (UBK...). In addition, each processing processor (CPU...), when allocated to a virtual machine (VM...), transmits the associated identity code (VMID) and the associated processor-related interrupt mask (UM) so that the interrupt control (UB-ST) can determine deliverable interrupt requests without loading the processing processors (CPU...). In addition, selected virtual machines and processing processors can be marked as required in the interrupt control via one of the processing processors, on initiation by the hypervisor, and simulated requests of the hypervisor can be stored so that interrupt requests of the input/output system, selected as global requests for non-running marked virtual machines, can be delivered to one of the marked processing processors and requests of the hypervisor for a running virtual machine can also easily be supplied to the associated processing processor.



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 419 723 A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 89118082.0

(51) Int. Cl.⁵: G06F 13/10, G06F 13/24

(22) Anmeldetag: 29.09.89

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
03.04.91 Patentblatt 91/14

(64) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE ES FR GB GR IT LI LU NL SE

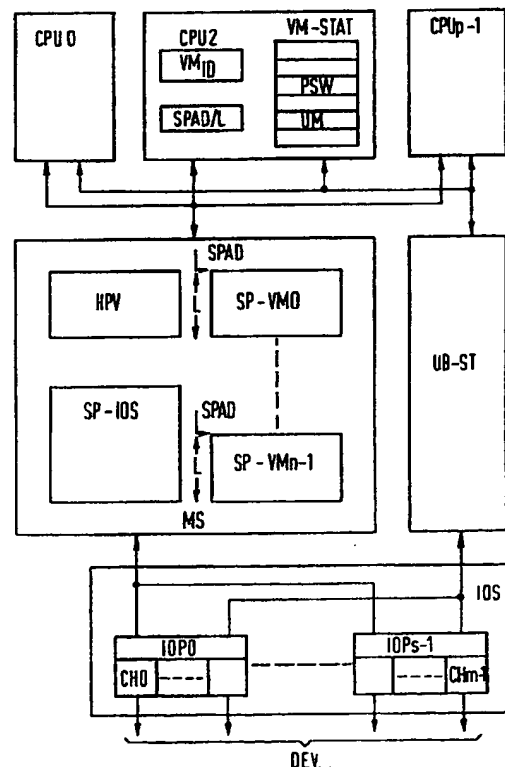
(71) Anmelder: Siemens Aktiengesellschaft
Wittelsbacherplatz 2
W-8000 München 2(DE)

(72) Erfinder: Weltzsch, Jürgen
Ludwig-Thoma-Strasse 6 a
W-8024 Delsenhofen(DE)
Erfinder: Spreen, Hado, Dr.
Friedenstrasse 66 b
W-8034 Germering(DE)

(54) Verfahren und Unterbrechungssteuerung zur Behandlung von Unterbrechungsanforderungen bei Ein-/Ausgabeoperationen in einem virtuellen Maschinensystem.

(57) Zur Verringerung des Aufwandes und der durch Einschaltung des Hypervisors bedingten Verlustzeiten werden Unterbrechungsanforderungen des Ein-/Ausgabesystems (IOS) durch eine zentrale Unterbrechungssteuerung (UB-ST) verwaltet, der alle Unterbrechungsanforderungen vom Ein-/Ausgabesystem (IOS) nach Identitätskennzeichen (VM_{ID}) der zugehörigen virtuellen Maschine (VM...) und der jeweiligen Unterbrechungsklasse (UBK...) geordnet mitgeteilt werden. Außerdem übermittelt jeder Verarbeitungsprozessor (CPU...) bei Zuordnung zu einer virtuellen Maschine (VM...) das zugehörige Identitätskennzeichen (VM_{ID}) und die zugehörige prozessorbezogene Unterbrechungsmaske (UM), so daß die Unterbrechungssteuerung (UB-ST) ohne Belastung der Verarbeitungsprozessoren (CPU...) zustellbare Unterbrechungsanforderungen ermitteln kann. Zusätzlich können auf Veranlassung des Hypervisors über einen der Verarbeitungsprozessoren ausgewählte virtuelle Maschinen und Verarbeitungsprozessoren in der Unterbrechungssteuerung nach Bedarf markiert sowie simulierte Anforderungen des Hypervisors hinterlegt werden, so daß Unterbrechungsanforderungen des Ein-/Ausgabesystems ausgewählt als globale Anforderungen für nicht laufende markierte virtuelle Maschinen einem der markierten Verarbeitungsprozessoren und auch Anforderungen des Hypervisors für eine laufende virtuelle Maschine dem zugeordneten Verarbeitungsprozessor ohne weiteres zugestellt werden können.

FIG 1



EP 0 419 723 A1

VERFAHREN UND UNTERBRECHUNGSSTEUERUNG ZUR BEHANDLUNG VON UNTERBRECHUNGSANFORDERUNGEN BEI EIN/AUSGABEOPERATIONEN IN EINEM VIRTUELLEN MASCHINENSYSTEM

Die Erfindung betrifft ein verfahren und eine Unterbrechungssteuerung zur Behandlung von Unterbrechungsanforderungen bei Ein-/Ausgabeoperationen in einem virtuellen Maschinensystem gemäß dem Oberbegriff der Patentansprüche 1 bzw. 9.

Virtuelle Maschinensysteme basieren bekanntlich auf einer in Hardware existierenden reellen Maschine, die in üblicher Weise aus einem Speicherwerk, einem oder mehreren verarbeitungsprozessoren und einem Ein-/Ausgabesystem mit Ein-/Ausgabeprozessoren, Kanälen und daran angeschlossenen Geräten besteht. Die einzelnen Hardwareaggregate oder Teile davon bilden die Betriebsmittel, die durch ein übergeordnetes Steuerprogramm (Hypervisor) den einzelnen virtuellen Maschinen statisch oder dynamisch zugeordnet werden, so daß ein Betrieb mit verschiedenen Betriebssystemen auf derselben reellen Maschine möglich ist, wobei jeweils ein Betriebssystem in einer virtuellen Maschine abläuft.

Unterbrechungsanforderungen des Ein-/Ausgabesystems, die am Ende einer Ein-/Ausgabeoperation oder beim Auftreten von Fehlern ausgelöst werden, werden dabei in, den einzelnen Unterbrechungsklassen, die gleichzeitig unterschiedlichen Prioritäten entsprechen, zugeordneten Warteschlangen abgespeichert. Ein Verarbeitungsprozessor prüft anhand einer Maske nach jedem ausgeführten Makrobefehl, ob eine Unterbrechung zulässig ist und ob eine Unterbrechungsanforderung der überprüften Unterbrechungsklasse vorliegt. Sind beide Bedingungen erfüllt, wird die weitere Steuerung an den Hypervisor zur Analyse der Anforderung übergeben und, wenn zulässig, eine Unterbrechungsanforderung für die zuständige virtuelle Maschine simuliert, die dann die Steuerung zur Durchführung der Unterbrechungsbehandlungsroutine übernimmt. Die dabei durch den Hypervisor verursachte Belastung des virtuellen Maschinensystems ist erheblich und mindert entsprechend die Nutzleistung des Systems.

Bei dem durch die EP-A2-0213952 bekannten virtuellen Maschinensystem wird daher der bestehende Satz von Warteschlangen entsprechend der Anzahl der virtuellen Maschinen im System vervielfältigt und im Verarbeitungsprozessor für jede der virtuellen Maschinen das zugehörige Maskenregister vorgesehen, so daß über das jeder virtuellen Maschine zugeordnete Identitätskennzeichen einerseits die Zuordnung einer Unterbrechungsanforderung zu dem entsprechenden Satz von Warteschlangen und andererseits die direkte Überprüfung dieses Satzes anhand der Maske der jeweils lau-

fenden virtuellen Maschine möglich ist. Dabei festgestellte Unterbrechungsanforderungen können daher unmittelbar ohne Zwischenschaltung des Hypervisors durch die laufende virtuelle Maschine behandelt werden, während Unterbrechungsanforderungen für andere virtuelle Maschinen bestehen bleiben, bis diese zum Ablauf kommen.

Im Gegensatz zur ersten Lösung, bei der die einzelnen Unterbrechungsklassen nicht individuell für jede virtuelle Maschine vorgegeben sind und daher der Hypervisor alle Anforderungen selbst bearbeiten und den betroffenen virtuellen Maschinen durch Simulation zuleiten muß, ist bei der zuletzt genannten Lösung für jede virtuelle Maschine jede Unterbrechungsklasse individuell vorgesehen.

Ausgehend von den üblichen acht Unterbrechungsklassen je virtueller Maschine benötigt man bei mehreren im System vorgesehenen virtuellen Maschinen in jedem Verarbeitungsprozessor ein entsprechendes Vielfaches von Unterbrechungssignalen und ein entsprechend breites Anforderungsregister, will man eine maschinenindividuelle Signalisierung an alle Verarbeitungsprozessoren sicherstellen, damit diese erkennen können, ob eine sie betreffende Anforderung vorliegt.

Bei den üblichen 32-Bit-breiten Registern führt das zwangsläufig zu einer Beschränkung der Anzahl der virtuellen Maschinen im System. Will man darüber hinaus die Anzahl der virtuellen Maschinen eines Systems vergrößern, bleibt lediglich eine Zusammenfassung von Unterbrechungsklassen der virtuellen Maschinen und deren Abbildung auf die Hardwareunterbrechungsklassen der Verarbeitungsprozessoren, wenn die Anzahl der Unterbrechungsklassen je virtueller Maschine nicht beschränkt werden soll. Diese Abbildung ist aber nicht umkehrbar, so daß es zur Annahme einer Unterbrechungsanforderung kommen kann, obwohl diese Anforderung durch die laufende virtuelle Maschine maskiert ist. In diesem Fall muß dann ebenfalls der Hypervisor eingreifen.

Entsprechend unterschiedlich gestalten sich auch die Möglichkeiten der Maskenbildung für die Verarbeitungsprozessoren. Erfolgt wie bei der zuerst beschriebenen Lösung das Bilden der Maske allein durch den Hypervisor, dem alle Änderungen mitzuteilen sind, dann führt das zu Leistungsverlusten. Verwendet man individuelle Masken für jede virtuelle Maschine mit Auswahl durch das Identitätskennzeichen der auf dem jeweiligen Verarbeitungsprozessor laufenden virtuellen Maschine, dann werden, wie bereits mit Bezug auf die Lösung der EP-A2-0213952 erläutert, nur Unterbrechungsanforderungen für die einem Verarbeitungsprozes-

sor zugeteilten virtuellen Maschinen angenommen.

Zur Ereignissteuerung ist es oft zweckmäßig, Unterbrechungsanforderungen für nicht laufende virtuelle Maschinen einstellbar dem Hypervisor zu-
leiten zu können. Eine weitere Möglichkeit der Maskenbildung besteht daher in der Einstellung eines spezifischen Maskenteils durch die jeweilige virtuelle Maschine, während die restliche Maske für andere virtuelle Maschinen jeweils beim Ablaufstart der virtuellen Maschine auf einem Prozessor vom Hypervisor zur Verfügung gestellt wird. Sind dabei anderen virtuellen Maschinen zugehörige Maskenteile nicht ausmaskiert, können diese entweder nicht auf einem anderen Verarbeitungsprozessor gestartet werden oder der Hypervisor muß Unterbrechungsanforderungen für eine laufende virtuelle Maschine annehmen und sie ihr auf dem anderen Verarbeitungsprozessor durch komplexe Simulation zustellen.

Ein entsprechendes Lösungsbeispiel ist in der EP-A2-0301275 beschrieben. Hierbei ist jeder virtuellen Maschine eine Hardwareunterbrechungsklasse zugeordnet, die durch ein Bit in einem 32-Bit-Register im jeweiligen Verarbeitungsprozessor gekennzeichnet ist, was in den der virtuellen Maschine zugeteilten Gerätekontrollblöcken vermerkt ist. Die Unterbrechungsmaskierung erfolgt in jedem Verarbeitungsprozessor durch die effektive Maske, die aus der vom Hypervisor eingestellten globalen Unterbrechungsmaske für die Behandlung von Unterbrechungsanforderungen für andere virtuellen Maschinen und dem Bündelungsbit der eigenen Maske der virtuellen Maschine gebildet wird. Eine von der effektiven Maske nicht maskierte Unterbrechungsanforderung wird daher in der üblichen Weise vom Bearbeitungsprozessor angenommen. Ist sie für die laufende virtuelle Maschine bestimmt, wird geprüft, ob die im Gerätekontrollblock zusätzlich vermerkte und auf eine vorgegebene virtuelle Maschine bezogene Unterbrechungsklasse durch die zugehörige Maske im Verarbeitungsprozessor maskiert ist. Ist dies nicht der Fall, wird sie der auf dem Verarbeitungsprozessor laufenden virtuellen Maschine direkt zur Behandlung zugeleitet. Andernfalls wird wie bei globalen, d.h. für wartende virtuelle Maschinen bestimmten, Unterbrechungsanforderungen der Hypervisor aufgerufen.

Bei Teilmaskierung hat diese Lösung den Nachteil, daß auch für laufende virtuelle Maschinen bestimmte Unterbrechungsanforderungen mit hoher Wahrscheinlichkeit dem Hypervisor zugeleitet werden müssen. Das gilt auch, wenn eine virtuelle Maschine auf einem Verarbeitungsprozessor zum Ablauf kommen soll, da der Hypervisor die globale Maske in einem anderen Prozessor nicht ändern kann.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, die Behandlung von Unterbrechungsanforderungen des

Ein-/Ausgabesystems in einem virtuellen Maschinensystem so zu gestalten, daß

- die Anzahl der zwischen dem Ein-/Ausgabesystem und den Verarbeitungsprozessoren auszutauschenden Signale möglichst gering ist,
- jeder virtuellen Maschine alle architekturbedingten Unterbrechungsklassen ohne Einschränkung zur Verfügung stehen und
- die Anzahl der im System möglichen virtuellen Maschinen nicht beschränkt ist und
- der Hypervisor steuern eingreifen kann, ohne daß die virtuellen Maschinen an die Verarbeitungsprozessoren permanent gebunden sind oder durch zu häufige Inanspruchnahme des Hypervisors unnötige Verluste entstehen.

Diese Aufgabe wird bezüglich des der Erfindung zugrundeliegenden Verfahrens durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Danach wird im Gegensatz zu den bekannten Lösungen die Überprüfung auf das Vorliegen von, von den einzelnen Verarbeitungsprozessoren entgegennehmbaren Unterbrechungsanforderungen des Ein-/Ausgabesystems einer zentralen Unterbrechungssteuerung übertragen, der alle notwendigen Masken in Zuordnung zu den einzelnen virtuellen Maschinen und den zugeteilten Verarbeitungsprozessoren mitgeteilt werden und die die Belegung der einzelnen Warteschlangen als Anforderungen speichert. Damit entfällt die parallele Signalisierung an alle Verarbeitungsprozessoren. Außerdem besteht unabhängig von den einzelnen Verarbeitungsprozessoren und ohne diese zu belasten die Möglichkeit zu prüfen, ob Unterbrechungsanforderungen für die auf den Verarbeitungsprozessoren laufenden virtuellen Maschinen vorliegen und angenommen werden können, so daß eine vorliegende Unterbrechungsanforderung an den zuständigen Verarbeitungsprozessor weitergeleitet und bei Annahme behandelt werden kann.

Um dabei zu vermeiden, daß eine Unterbrechungsanforderung an einen Verarbeitungsprozessor weitergeleitet wird, wenn dieser gerade nicht unterbrechbar ist, teilt jeder Verarbeitungsprozessor der Unterbrechungssteuerung seine jeweilige Unterbrechungsbereitschaft gesondert mit.

Bei Annahme einer Unterbrechungsanforderung muß der zugehörige Gerätekontrollblock vom Prozessor aus seiner Warteschlange ausgegliedert werden. Weitere Unterbrechungsanforderungen in dieser Warteschlange müssen daher in der Unterbrechungssteuerung erneut gekennzeichnet werden. Dazu ist es zweckmäßig, daß gemäß der Weiterbildung entsprechend Patentanspruch 3 dieses erneute Setzen der Anforderung in der Unterbrechungssteuerung durch den ausgliedernden Verarbeitungsprozessor erfolgt. Je Warteschlange wird daher nur ein Anforderungsbit in der Unterbrechungssteuerung benötigt, und diese wird auch

nicht mit einer zusätzlichen Überprüfung der einzelnen Warteschlangen auf Belegungen belastet.

Anforderungen an nicht laufende virtuelle Maschinen bleiben dagegen solange gespeichert und unberücksichtigt, bis diese auf einem der Verarbeitungsprozessoren zum Ablauf kommen und die zugehörige Unterbrechungsmaske die Zustellung zuläßt. Daher muß der Hypervisor von Zeit zu Zeit alle virtuellen Maschinen zum Ablauf bringen, was gegebenenfalls zu unnötigen Aufrufen führen kann.

Weiterbildungen der Erfindung gemäß Patentanspruch 4 und 5 ermöglichen daher auch die Weiterleitung von Unterbrechungsanforderungen für wartende virtuelle Maschinen an unterbrechungsbereite Verarbeitungsprozessoren, die einer anderen virtuellen Maschine zugeordnet sind. Jedoch wird in diesem Falle vom Verarbeitungsprozessor unmittelbar der Hypervisor aufgerufen und die Unterbrechungsanforderung an diesen zur weiteren Entscheidung weitergeleitet.

Wartende virtuelle Maschinen, für die Unterbrechungsanforderungen auch von für andere virtuelle Maschinen arbeitenden Verarbeitungsprozessoren entgegengenommen werden können, werden daher durch den Hypervisor in der Unterbrechungssteuerung markiert. Dafür reicht ein Steuerbit. Jedoch werden in diesem Falle Unterbrechungsanforderungen aller Unterbrechungsklassen für eine wartende virtuelle Maschine über einen der unterbrechungsbereiten Verarbeitungsprozessoren an den Hypervisor weitergeleitet, auch wenn diese wegen entsprechender Maskierung dann nicht behandelt werden können, so daß der Hypervisor vielfach unnötig aufgerufen wird und die Anforderung speichern muß, was zu Verlusten führt. Zweckmäßiger ist daher eine nach Unterbrechungsklassen unterteilte Maskierung in der Unterbrechungssteuerung, so daß der Hypervisor nur aufgerufen wird, wenn die Unterbrechungsanforderung durch die klassenbezogene globale Maskierung der virtuellen Maschine zulässig ist.

Zusätzlich besteht gemäß Patentanspruch 6 die Möglichkeit, die Weiterleitung solcher globaler Unterbrechungsanforderungen auf vorgegebene virtuelle Maschinen zu beschränken, indem diese durch den Hypervisor in der Unterbrechungssteuerung für jeden Verarbeitungsprozessor gesondert markiert werden. Auf diese Weise wird verhindert, daß mit höherer Priorität laufende virtuelle Maschinen in ihrem Ablauf gegebenenfalls unterbrochen werden, was wiederum zu Verlusten führen kann.

Unterbrechungsanforderungen können einer virtuellen Maschine durch den Hypervisor normalerweise dadurch zugestellt werden, daß ein entsprechender Statuswechsel vorgenommen wird. Dies ist aber nur möglich, wenn die Unterbrechungsanforderung nicht maskiert ist. Andernfalls müssen alle Maskenänderungen einer virtuellen

Maschine dem Hypervisor mitgeteilt werden, damit dieser die Zustellbarkeit prüfen kann. Gemäß den Weiterbildungen der Erfindung entsprechend den Patentansprüchen 7 oder 8 hat dagegen der Hypervisor die Möglichkeit in den einzelnen Verarbeitungsprozessoren oder aber vorteilhafter in der Unterbrechungssteuerung eine nach Unterbrechungsklassen unterteilte Markierung vorzunehmen, die anzeigt, daß der Hypervisor von einer laufenden virtuellen Maschine aufgerufen werden will. Diese Markierung wird dann anhand der jeweils gültigen Unterbrechungsmaske überprüft und, sobald die markierte Anforderung nicht mehr maskiert ist, der Hypervisor aufgerufen. Die Markierung in der Unterbrechungssteuerung hat dabei den Vorteil, daß sie nicht allen Verarbeitungsprozessoren einer virtuellen Maschine mitgeteilt werden muß, da die Befähigung zur Annahme von Unterbrechungsanforderungen für die virtuelle Maschine auf die Verarbeitungsprozessoren unterschiedlich verteilt sein kann. Außerdem werden auch in diesem Falle die Verarbeitungsprozessoren von der Überprüfung entlastet.

Die Realisierung des der Erfindung zugrundeliegenden Verfahrens und seiner Weiterbildungen erfordern nur einen verhältnismäßig geringen Aufwand für die zentrale Unterbrechungssteuerung gemäß den Patentansprüchen 9 bis 16. Er besteht in erster Linie aus Speichermitteln für die Speicherung der Unterbrechungsanforderung, der Masken und der Markierungen, sowie aus Mitteln zur Entgegennahme der Unterbrechungsanforderungen vom Ein-/Ausgabesystem und der Mitteilungen über die Masken und Markierungen von den einzelnen Verarbeitungsprozessoren und aus weiteren Mitteln zur Überprüfung der Unterbrechungsanforderungen anhand der jeweils vorliegenden Masken und Markierungen und zur Weiterleitung zustellbarer Unterbrechungsanforderungen an den jeweiligen Verarbeitungsprozessor.

Einzelheiten der Erfindung seien nachfolgend anhand des in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Im einzelnen zeigen

FIG 1 ein Übersichtsschaltbild eines virtuellen Maschinensystems,

FIG 2 die Struktur der Unterbrechungswarteschlangen des Ein-/Ausgabesystems mit den Anforderungsregistern für jede virtuelle Maschine in der Unterbrechungssteuerung,

FIG 3 die Speichermittel der Unterbrechungssteuerung,

FIG 4 ein Flußdiagramm für den Steuerungsablauf in der Unterbrechungssteuerung und

FIG 5 ein Flußdiagramm für den Unterbrechungsablauf in den einzelnen Verarbeitungsprozessoren.

Das Übersichtsschaltbild von FIG 1 zeigt eine

Reihe von Verarbeitungsprozessoren CPU0 bis CPU_{p-1}, auf denen die einzelnen virtuellen Maschinen VM1 bis VM_n des virtuellen Systems zum Ablauf kommen, das Ein-/Ausgabesystem IOS mit mehreren Ein-/Ausgabeprozessoren IOP0 bis IOP_{s-1}, Kanälen CHI bis CH_m und an diesen angeschlossenen Geräten DEV, das Speicherwerk MS mit verschiedenen Bereichen, von denen der Bereich HPV dem übergeordneten Steuerprogramm oder dem Hypervisor, die Bereiche SP-VM0 bis SP-VM_{n-1} den einzelnen virtuellen Maschinen VM0 bis VM_{n-1} und der Bereich SP-IOS dem Ein-/Ausgabesystem IOS zugeordnet ist. Zusätzlich gezeigt ist die gemäß der Erfindung arbeitende zentrale Unterbrechungssteuerung UB-ST, die Unterbrechungsanforderungen des Ein-/Ausgabesystems IOS entgegennimmt und diese auf Grund der von den einzelnen Verarbeitungsprozessoren CPU0 bis CPU_{p-1} erhaltenen Mitteilungen überprüft und wenn möglich an einen der Verarbeitungsprozessoren weiterleitet.

Der Hypervisor HPV steuert in an sich bekannter Weise das gesamte virtuelle Maschinensystem. Er verwaltet die einzelnen Betriebsmittel des Systems und teilt diese den virtuellen Maschinen VM0 bis VM_{n-1} zu. Eine virtuelle Maschine kann dabei auf mehreren Verarbeitungsprozessoren zum Ablauf kommen, indem der jeweils zugehörige Status VM-STAT, der u.a. das Programmstatuswort PSW und die Unterbrechungsmaske UM umfaßt, in die Register eines der Verarbeitungsprozessoren CPU... geladen wird. Jeder virtuellen Maschine sind außerdem ein Identitätskennzeichen VM_{ID}, das die Beziehung zu den zugeordneten Betriebsmitteln sichert, und Angaben, z.B. Anfangsadresse SPAD mit Länge L des Bereichs, zur Kennzeichnung des jeweils zugehörigen Bereichs im Speicher MS zugeordnet.

FIG 2 zeigt die Warteschlangenköpfe WSK für die nach Unterbrechungsklassen UBK0 bis UBK7 geordneten und aus den den einzelnen Geräten zugeordneten Gerätekontrollblöcken DCB durch entsprechende Adressenverknüpfungen in an sich bekannter Weise gebildeten Warteschlangen WS je virtueller Maschine VM.... Die einzelnen Gerätekontrollblöcke DCB enthalten in bekannter Weise die üblichen Status- und Steuerinformationen. Für den von Verarbeitungsprozessoren CPU... unabhängigen Betrieb der Geräte DEV... durch das Ein-/Ausgabesystem IOS sind in jedem Gerätekontrollblock DCB die Speicherangaben SPAD/L der zugehörigen virtuellen Maschine VM... vermerkt. Außerdem sind in den Gerätekontrollblöcken DCB das Identitätskennzeichen VM_{ID} der zugehörigen virtuellen Maschine VM... und die Unterbrechungsklasse UBK... für Unterbrechungsanforderungen gespeichert. Auf Grund der beiden letzten Angaben VM_{ID} und UBK... kann daher jeder Gerätekontroll-

block DCB im Falle einer Unterbrechungsanforderung des zugehörigen Gerätes DEV... einer der Warteschlangen WS... eindeutig zugeordnet werden.

Sobald einer der Gerätekontrollblöcke DCB an einen der Warteschlangenköpfe WSK angegliedert wird, erfolgt eine Meldung an die Unterbrechungssteuerung VB-ST, und im dortigen Anforderungsregister, z.B. ANF-REG_n, für die betroffene virtuelle Maschine, z.B. VM_n, wird dann das der zugehörigen Unterbrechungsklasse UBK... entsprechende Bit gesetzt.

FIG 3 zeigt die in der Unterbrechungssteuerung UB-ST benötigten Speichermittel, die zumindestens aus den Anforderungsregistern ANF-REG... je virtueller Maschine VM0 bis VM_{n-1} mit je einem Bit je Unterbrechungsklasse UBK0 bis UBK7 und einem kombinierten Register ID/UM-REG... je Verarbeitungsprozessor CPU0 bis CPU_{p-1} zur Speicherung der prozessorbezogenen Unterbrechungsmasken UM der auf den Verarbeitungsprozessoren jeweils laufenden virtuellen Maschinen und des zugehörigen Identitätskennzeichens VM_{ID} bestehen. Die prozessorbezogenen Angaben ID/UM erhält die Unterbrechungssteuerung VB-ST jeweils vom zugehörigen Verarbeitungsprozessor CPU... mitgeteilt, wenn dieser einer virtuellen Maschine VM... zugeordnet wird oder die Maske UM durch die virtuelle Maschine VM... geändert wird.

Im vorliegenden Fall ist unterstellt, daß jeder Verarbeitungsprozessor CPU... seine Unterbrechungsbereitschaft zusätzlich signalisiert, so daß prozessorbezogen anhand des gespeicherten Identitätskennzeichens VM_{ID} unmittelbar das zugehörige Anforderungsregister ANF-REG... festliegt, das dann auf Vorliegen einer Unterbrechungsanforderung überprüft wird. Auf diese Weise wird jeweils nur das Anforderungsregister der virtuellen Maschine überprüft, die auf einem unterbrechungsbereiten Verarbeitungsprozessor läuft, so daß eine unmaskierte Unterbrechungsanforderung für diese virtuelle Maschine unmittelbar weiterleitbar ist.

Über diesen Grundbestand an Speichermitteln hinaus können für die Behandlung von globalen Unterbrechungsanforderungen, die für eine wartende virtuelle Maschine bestimmt sind, sowie für die Simulation von Unterbrechungsanforderungen durch den Hypervisor an eine laufende virtuelle Maschine zusätzliche Speichermittel vorgesehen sein. Es handelt sich hierbei um ein weiteres 1-Bit-Register bzw. - wie gezeigt - um ein ebenfalls nach Unterbrechungsklassen unterteiltes 8-Bit-Register GLM-REG... je virtueller Maschine VM... für die Kennzeichnung, ob eine Unterbrechungsanforderung für diese virtuelle Maschine auch einem unterbrechungsbereiten Verarbeitungsprozessor zugestellt werden darf, obwohl auf diesem eine andere virtuelle Maschine gerade abläuft. Die Register

GLM-REG können für jede virtuelle Maschine VM... zu jeder Zeit vom Hypervisor über einen beliebigen Verarbeitungsprozessor CPU... verändert werden.

Außerdem können diese Register um ein Register GLV-REG je Verarbeitungsprozessor CPU... ergänzt sein, das bei Zuordnung einer virtuellen Maschine VM... zu einem Verarbeitungsprozessor CPU..., geladen wird. Es enthält je virtueller Maschine VM0 bis VMn-1 ein Bit, das anzeigt, welche anderen virtuellen Maschinen VM_{ID} die auf dem jeweiligen Verarbeitungsprozessor laufende virtuelle Maschine VM... global unterbrechen dürfen.

Schließlich kann je virtueller Maschine VM... ein weiteres, nach Unterbrechungsklassen UBK... unterteiltes Anforderungsregister SANF-REG... vorgesehen sein, mit dem Anforderungen des Hypervisors an eine laufende virtuelle Maschine simuliert werden, um dieser Unterbrechungsanforderungen zustellen zu können, wenn eine direkte Zustellung durch einfache Statusmanipulation nicht möglich ist. Neben Unterbrechungsanforderungen des Ein-/Ausgabesystems IOS können auch andere systembedingte Anforderungen für eine bestimmte virtuelle Maschine mit Hilfe dieser Register durch die Unterbrechungssteuerung UB-St bearbeitet werden, wenn der Umfang der Anforderungsklassen und der Masken UM entsprechend erweitert wird. Das Setzen der Anforderungen in diesen Registern SANF-REG... erfolgt daher nicht vom Ein-/Ausgabesystem aus, sondern von einem für den Hypervisor gerade arbeitenden Verarbeitungsprozessor CPU.... Diese Register werden in der gleichen Weise wie die Register ANF-REG..., jedoch nur auf lokale Unterbrechungsanforderungen, mittels der Unterbrechungsmaske UM überprüft.

Die prinzipielle Arbeitsweise der Unterbrechungssteuerung UB-ST ergibt sich aus dem Flußlaufdiagramm von FIG 4. Die Steuerung sucht der Reihe nach einen seine Unterbrechungsbereitschaft signalisierenden Verarbeitungsprozessor CPU... auf. Ist ein solcher gefunden, wird geprüft, ob überhaupt eine Unterbrechungsanforderung vorliegt. Ist dies entsprechend ANFGES=0 nicht der Fall, wird erwartet, bis eine Unterbrechungsanforderung eintrifft. Im anderen Falle wird der Reihe nach eine der virtuellen Maschinen VM... und für jede dieser virtuellen Maschinen der Reihe nach eine der Unterbrechungsklassen UBK0 bis UBK7 überprüft. Liegt mit $ANF(VM_{ID}, UBK) = 0$ keine Anforderung für die überprüfte Unterbrechungsklasse UBK... und die durch VM_{ID} gekennzeichnete virtuelle Maschine vor, wird die nächste Unterbrechungsklasse UBK... geprüft usw., bis eine Anforderung mit $ANF(VM_{ID}, UBK) = 1$ gefunden ist. Wenn die auf dem unterbrechungsbereiten Verarbeitungsprozessor CPU... laufende virtuelle Maschine mit der virtuellen Maschine, für die die Unterbrechungsanforderung bestimmt ist, identisch ist, wird anhand der

prozessorbezogenen Unterbrechungsmaske entsprechend $M = UM(CPU/UBK)$ überprüft, ob die zugehörige Unterbrechungsklasse maskiert ist oder nicht. Ist $M = 1$ nicht erfüllt, wird die Überprüfung für die nächste Unterbrechungsklasse UBK... oder falls alle Unterbrechungsklassen UBK0 bis UBK7 überprüft sind, die Überprüfung für die nächste virtuelle Maschine VM... fortgesetzt.

Ist dagegen $M = 1$ gegeben, wird die Unterbrechungsanforderung dem jeweiligen Prozessor CPU unter Angabe der Identität VM_{ID} und der Unterbrechungsklasse UBK... zugestellt und abgewartet, ob die Zustellung Erfolg hat, da der Verarbeitungsprozessor die ursprünglich signalisierte Unterbrechungsbereitschaft zwischenzeitlich aufgehoben haben kann, so daß die Prüfung bezogen auf den nächsten unterbrechungsbereiten Verarbeitungsprozessor CPU... fortgesetzt werden muß.

Erfolgt dagegen eine Annahme der zugestellten Unterbrechungsanforderungen, dann wird im betroffenen Anforderungsregister ANF-REG... die Anforderung entsprechend $ANF(VM_{ID}, UBK) = 0$ gelöscht und die Gesamtzahl der vorliegenden Anforderungen entsprechend $ANFGES_N = ANFGES_A - 1$ um 1 vermindert und die Prüfung mit dem nächsten unterbrechungsbereiten Verarbeitungsprozessor CPU... fortgesetzt.

Stimmt die auf dem unterbrechungsbereiten Verarbeitungsprozessor laufende virtuelle Maschine nicht mit der überein, für die die festgestellte Anforderung bestimmt ist, also gilt $VM_{ID}(CPU) \neq VM_{ID}(ANF)$, dann wird geprüft, ob eine globale Unterbrechungsanforderung vorliegt, die dem Verarbeitungsprozessor zur Weiterleitung an den Hypervisor zugestellt werden kann. Diese Überprüfung erfolgt anhand der globalen Unterbrechungsmaske GLM(VM_{ID}, UBK) und anhand der Markierungsmaske GLV (CPU, VM_{ID}). Sind beide Bedingungen erfüllt, kann die festgestellte Unterbrechungsanforderung ebenfalls zugestellt werden usw..

Der dem Flußlaufdiagramm von FIG 4 zugrundegelegte Steuerungsablauf ist rein seriell. Grundsätzlich können jedoch viele Prüfungsvorgänge parallel ausgeführt werden. So können z.B. die gespeicherten Anforderungen in den Registern ANF-REG... und SANF-REG... für alle Unterbrechungsklassen UBK... anhand der Unterbrechungsmaske UM parallel überprüft werden, wobei bei mehreren gleichzeitig vorliegenden unmaskierten Anforderungen jeweils die Unterbrechungsklasse mit der höchsten Priorität ausgewählt wird. Auch die Überprüfung auf das Vorliegen von globalen Anforderungen anhand der globalen Unterbrechungsmaske GLM einer virtuellen Maschine VM... kann für alle Unterbrechungsklassen gleichzeitig erfolgen, wobei anhand des jeweils zugehörigen Registers GLV-REG... gleichzeitig überprüft werden kann, ob der unterbrechungsbereite Verarbeitungsprozessor CPU...

für eine globale Unterbrechung durch diese virtuelle Maschine zugelassen ist, usw..

Schließlich braucht im Flußdiagramm von FIG 4 nach Feststellung eines unterbrechungsbereiten Verarbeitungsprozessors GPU... bei Vorliegen einer Unterbrechungsanforderung die Überprüfung nicht mit einer vorgegebenen virtuellen Maschine entsprechend $VM_{ID}=0$ zu beginnen, sondern als Startpunkt für die Prüfung kann zweckmässig jeweils die auf dem unterbrechungsbereiten Verarbeitungsprozessor ablaufende und im kombinierten prozessorbezogenen Register ID/UM-REG... mit VM_{ID} gekennzeichnete virtuelle Maschine gewählt werden, so daß für diese virtuelle Maschine bestimmte, lokale Unterbrechungsanforderungen bevorzugt behandelt werden.

FIG 5 zeigt schließlich das Flußlaufdiagramm für den Unterbrechungsablauf innerhalb der einzelnen Verarbeitungsprozessoren CPU0 bis CPU_{P-1}. Nach Ausführung eines jeden Makrobefehls des laufenden Programms wird in an sich bekannter Weise geprüft, ob eine höher priorisierte Unterbrechung angefordert ist, und gegebenenfalls diese ausgeführt. Ist dies nicht der Fall, wird geprüft, ob eine Unterbrechungsanforderung des Ein-/Ausgabesystems vorliegt und gegebenenfalls auf das Vorliegen von Unterbrechungsanforderungen niedrigerer Priorität geprüft, bevor gegebenenfalls das laufende Programm fortgesetzt wird.

Liegt dagegen eine Mitteilung über eine Unterbrechungsanforderung des Ein-/Ausgabesystems IOS vor, dann wird anhand des mitgeteilten Identitätskennzeichens VM_{ID} und der Unterbrechungsklasse UBK... die zugehörige Warteschlange WS im Speicherbereich SP-IOs auf Belegung überprüft. Ist die überprüfte Warteschlange WS... leer, wird die Annahme der Unterbrechungsanforderung abgelehnt und das laufende Programm fortgesetzt. Im anderen Falle wird der erste Gerätekontrollblock DCB der Warteschlange WS aufgesucht und aus dieser für die weitere Bearbeitung ausgegliedert. Anschließend prüft der Verarbeitungsprozessor CPU..., ob die Warteschlange nach der Ausgliederung noch belegt ist. Ist dies der Fall, wird die Unterbrechungssteuerung UB-ST angesteuert und die gelöschte Unterbrechungsanforderung im zugehörigen Anforderungsregister ANF-REG... erneut gesetzt. Weiterhin wird durch den Verarbeitungsprozessor geprüft, ob die Unterbrechungsanforderung für die auf ihm laufende virtuelle Maschine VM... bestimmt ist und somit eine lokal zu behandelnde Unterbrechungsanforderung vorliegt oder ob die Unterbrechungsanforderung für eine andere virtuelle Maschine bestimmt und daher der Hypervisor zu aktivieren ist. In beiden Fällen kommt es zur Unterbrechung des laufenden Programms für die Behandlung der Unterbrechungsanforderung.

Unabhängig von der eigenständigen Überwa-

chungstätigkeit der Unterbrechungssteuerung UB-ST zwecks Ermittlung von in den Anforderungsregistern ANF-REG... und SANF-REG... gespeicherten Unterbrechungsanforderungen besteht weiterhin die Möglichkeit, auch eine von einem der Verarbeitungsprozessoren ausgelöste Abfrage auf Vorliegen von Anforderungen für eine vorgegebene virtuelle Maschine auszuführen. Ebenso können in der Unterbrechungssteuerung gespeicherte Anforderungen auf Veranlassung eines Verarbeitungsprozessors gelöscht werden.

Die Erfindung ist schließlich nicht auf eine im Übersichtsschaltbild von FIG 1 wiedergegebene Systemstruktur beschränkt, sondern auch in virtuellen Systemen anwendbar, bei denen entsprechend FIG 13 der EP-A3-0087344 die Verarbeitungsprozessoren in Gruppen mit je einem Ein-/Ausgabesystem gebündelt sind und bei denen jede Gruppe über eine individuelle Zugriffssteuerung zu einem gemeinsamen, modular aufgebauten Speicherwerk zugreifen kann. In diesem Falle ist jeder Gruppe eine Unterbrechungssteuerung gemäß der Erfindung zuzuordnen, die wie die Zugriffssteuerungen für das Speicherwerk jeweils über denselben Informationsstand verfügen und Änderungen ihres Informationsstandes jeweils der anderen mitteilen.

30 Ansprüche

1. Verfahren zur Behandlung von Unterbrechungsanforderungen bei Ein-/Ausgabeoperationen in einem virtuellen Maschinensystem S mit mehreren virtuellen Maschinen (VM_0 bis VM_{n-1}), denen jeweils ein eigenständiges Identitätskennzeichen (VM_{ID}) zugeordnet ist, und bestehend aus
 - einem oder mehreren Verarbeitungsprozessoren (CPU0 bis CPU_{P-1}),
 - einem Ein-/Ausgabesystem (IOS) mit Ein-/Ausgabeprozessoren (IOP...), Kanälen (CH...) und angeschlossenen Ein-/Ausgabegeräten (DEV...) und
 - einem Speicherwerk (MS) mit einem Bereich (HPV) für den Hypervisor zur Steuerung des virtuellen Maschinensystems, mit den einzelnen virtuellen Maschinen ($VM_{...}$) zugeordneten Bereichen (SP- VM_0 bis SP- VM_{n-1}) und mit einem dem Ein-/Ausgabesystem zugeordneten Bereich (SP-IOs), wobei im Speicherbereich (SP-IOs) des Ein-/Ausgabesystems (IOS) für jede virtuelle Maschine ($VM_{...}$) ein maschinenindividueller Satz von den einzelnen Unterbrechungsklassen (UBK0 bis UBK7) zugeordneten Warteschlangen (WS...) zur Abspeicherung von Unterbrechungsanforderungen des Ein-/Ausgabesystems (IOS) vorgesehen ist und die Weiterleitung von Unterbrechungsanforderungen an die jeweilige virtuelle Maschine ($VM_{...}$) masken-gesteuert erfolgt.

dadurch gekennzeichnet, daß jeder der Verarbeitungsprozessoren (CPU0 bis CPU_{P-1}) bei Zuordnung zu einer virtuellen Maschine (VM0 bis VM_{n-1}) jeweils das zugehörige Identitätskennzeichen (VM_{ID}) und bei deren Änderung die Maske (UM) für die Unterbrechungsbehandlung einer zentralen Unterbrechungssteuerung (UB-ST) mitteilt, daß das Ein-/Ausgabesystem (IOS) bei der erstmaligen Belegung einer Warteschlange (WS...) jeweils das die betroffene virtuelle Maschine (VM) kennzeichnende Identitätskennzeichen (VM_{ID}) und die zugehörige Unterbrechungsklasse (z.B. UBK7) zur Kennzeichnung einer Unterbrechungsanforderung der zentralen Unterbrechungssteuerung ebenfalls mitteilt und daß die Unterbrechungssteuerung (UB-ST) mitgeteilte Unterbrechungsanforderungen anhand des Identitätskennzeichens (VM_{ID}) der Anforderung und anhand der zugehörigen Unterbrechungsmaske (UM) überprüft, ob die Anforderung an einen der Verarbeitungsprozessoren (CPU) direkt weitergeleitet werden kann oder wegen nicht möglicher Weiterleitung zunächst unbearbeitet und daher gespeichert bleiben muß.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, 7 daß jeder der Verarbeitungsprozessoren (CPU0 bis CPU_{P-1}) der Unterbrechungssteuerung (UB-ST) zusätzlich die Bereitschaft zur Annahme von Unterbrechungsanforderungen signalisiert.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet, daß jeder der Verarbeitungsprozessoren (CPU0 bis CPU_{P-1}) bei Annahme einer von der Unterbrechungssteuerung (UB-ST) zugestellten Unterbrechungsanforderung und deren Ausgliederung aus der zugehörigen Warteschlange (WS...) des Ein-/Ausgabesystems (IOS) überprüft, ob die betreffende Warteschlange (WS...) noch mit weiteren Anforderungen belegt ist, und daß bei Vorliegen weiterer Anforderungen der prüfende Verarbeitungsprozessor (CPU...) dies der Unterbrechungssteuerung (UB-ST) mitteilt und dadurch die gelöschte Anforderung wieder gesetzt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet, daß über den jeweils dem Hypervisor (HPV) für das virtuelle Maschinensystem zugeordneten Verarbeitungsprozessor (CPU...) in der Unterbrechungssteuerung (UB-ST) jede einzelne virtuelle Maschine (VM0 bis VM_{n-1}) gesondert markierbar (durch GLM) ist und daß für eine derartig markierte virtuelle Maschine vorliegende Unterbrechungsanforderungen als globale Unterbrechungsanforderungen von der Unterbrechungssteuerung (UB-ST) durch Übermittlung der Unterbrechungsklasse (UBK...) und des Identitätskennzeichens (VM_{ID}) der zugehörigen virtuellen Maschine einem auswählbaren, für eine andere virtuelle Maschine arbeitenden Verarbeitungsprozessor (CPU...) zugestellt wird, der dann die mitgeteilte

Unterbrechungsanforderung an den Hypervisor (HPV) zur weiteren Entscheidung weiterleitet.

5. Verfahren nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet, daß die gesonderte Markierung (GLM) für die einzelnen virtuellen Maschinen (VM0 bis VM_{n-1}) nach Unterbrechungsklassen (UBK0 bis UBK7) unterteilt erfolgt, so daß Unterbrechungsanforderungen einer nicht markierten Unterbrechungsklasse (UBK...) unberücksichtigt bleiben.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5,

dadurch gekennzeichnet, daß bei Zuordnung einer virtuellen Maschine (VM_x) durch den Hypervisor (HPV) zu einem Verarbeitungsprozessor (CPU_y) in der Unterbrechungssteuerung (UB-ST) jede einzelne virtuelle Maschine (VM0 bis VM_{n-1}) gesondert markierbar (durch GLV) ist, und daß Unterbrechungsanforderungen für solche markierte virtuelle Maschinen zur Unterbrechung des mit einer solchen Markierung versehenen Verarbeitungsprozessors (CPU) und der auf ihnen laufenden virtuellen Maschine (VM_x) zwecks Weiterleitung der Unterbrechungsanforderung an den Hypervisor (HPV) führen.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

dadurch gekennzeichnet, daß über den jeweils dem Hypervisor (HPV) für das virtuelle Maschinensystem zugeordneten Verarbeitungsprozessor (CPU...) bei Zuordnung einer der virtuellen Maschinen (VM...) zu einem oder mehreren der Verarbeitungsprozessoren in den zugeordneten Verarbeitungsprozessoren (CPU...) eine weitere, nach Unterbrechungsklassen (UBK0 bis UBK7) des Ein-/Ausgabesystems (IOS) und gegebenenfalls weiteren Anforderungsklassen für sonstige asynchrone Unterbrechungsanforderungen bei entsprechender Erweiterung der Unterbrechungsmaske unterteilte Markierung erfolgt, die eine Unterbrechungsanforderung durch den Hypervisor (HPV) anzeigt und die jeweils anhand der der virtuellen Maschine (VM...) zugeordneten und durch diese veränderbaren Unterbrechungsmaske (UM) überprüft wird, und daß der Verarbeitungsprozessor (CPU...) den Hypervisor (HPV) aufruft, wenn die gültige Unterbrechungsmaske (UM) die markierte Unterbrechungsanforderung freigibt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

dadurch gekennzeichnet, daß über den jeweils dem Hypervisor (HPV) für das virtuelle Maschinensystem zugeordneten Verarbeitungsprozessor (CPU...) in der Unterbrechungssteuerung (UB-ST) für jede einzelne virtuelle Maschine (VM1 bis VM_n) nach den Unterbrechungsklassen (UBK0 bis UBK7) des Ein-/Ausgabesystems (IOS) und gegebenenfalls weiteren Anforderungsklassen für sonstige asynchrone Unterbrechungsanforderungen bei entsprechender Erweiterung der Unterbrechungsmaske unterteilte Unterbrechungsanforderungen

(SANF) des Hypervisors (HVP) hinterlegbar sind und daß diese Unterbrechungsanforderungen wie Unterbrechungsanforderungen des Ein-/Ausgabesystems (IOS) von der Unterbrechungssteuerung (UB-ST) überprüft und bei Zustellbarkeit an den der zugehörigen virtuellen Maschine (VM...) zugeordneten Verarbeitungsprozessor (CPU...) weitergeleitet werden, der dann den Hypervisor (HPV) aufruft.

9. Unterbrechungssteuerung für ein virtuelles Maschinensystem mit mehreren virtuellen Maschinen (VM0 bis VMn-1), denen jeweils ein eigenständiges Identitätskennzeichen (VM_{ID}) zugeordnet ist, und bestehend aus

- einem oder mehreren Verarbeitungsprozessoren (CPU0 bis CPU_{P-1}),
 - einem Ein-/Ausgabesystem (IOS) mit Ein-/Ausgabeprozessoren (IOP...), Kanälen (CH...) und angeschlossenen Ein-/Ausgabegeräten (DEV...) und
 - einem Speicherwerk (MS) mit einem Bereich (HPV) für den Hypervisor zur Steuerung des virtuellen Maschinensystems, mit den einzelnen virtuellen Maschinen (VM...) zugeordneten Bereichen (SP-VM0 bis SP-VMn-1) und mit einem dem Ein-/Ausgabesystem zugeordneten Bereich (SP-IOS), wobei im Speicherbereich (SP-IOS) des Ein-/Ausgabesystems (IOS) für jede virtuelle Maschine (VM...) ein maschinenindividueller Satz von den einzelnen Unterbrechungsklassen (UBK0 bis UBK7) zugeordneten Warteschlangen (WS...) zur Abspeicherung von Unterbrechungsanforderungen des Ein-/Ausgabesystems (IOS) vorgesehen ist und die Weiterleitung von Unterbrechungsanforderungen an die jeweilige virtuelle Maschine (VM...) maskengesteuert erfolgt,
- gekennzeichnet,**

- durch eine unabhängig arbeitende zentrale Unterbrechungssteuerung (UB-ST)
- mit je virtueller Maschine (VM0 bis VMn-1) vorgesehenen individuellen Speichermitteln (ANF-REG...) für die Speicherung der nach Unterbrechungsklassen (UBK0 bis UBK7) unterteilten Unterbrechungsanforderungen des Ein-/Ausgabesystems (IOS) und
- mit je Verarbeitungsprozessor (CPU0 bis CPU_{P-1}) vorgesehenen individuellen Speichermitteln (ID/UM-REG...) zur Speicherung der zugehörigen Unterbrechungsmaske (UM) für die auf dem Verarbeitungsprozessor (CPU...) jeweils laufende virtuelle Maschine (VM ...) und deren Identitätskennzeichen (VM_{ID}),
- durch Mittel zur Entgegennahme und Abspeicherung der vom Ein-/Ausgabesystem (IOS) gemeldeten Unterbrechungsanforderungen in den entsprechenden individuellen Speichermitteln (ANF-REG...),
- durch Mittel zur Entgegennahme und Abspeicherung bzw. Löschung der von den einzelnen Verarbeitungsprozessoren (CPU0 bis CPU_{P-1}) mitgeteil-

ten Angaben (UM, VM_{ID}) über die jeweils zugeordnete virtuelle Maschine (VM...) und die zugehörige Unterbrechungsmaske (UM),

- durch Mittel zur Überprüfung der jeweils vorliegenden Unterbrechungsanforderungen anhand der Unterbrechungsmaske (UM) der jeweils zugehörigen virtuellen Maschine (VM...) auf ihre Zustellbarkeit und

- durch Mittel zur Weiterleitung zustellbarer Unterbrechungsanforderungen an den jeweiligen Verarbeitungsprozessor (CPU...).

10. Unterbrechungssteuerung nach Anspruch 9, **gekennzeichnet,**

- durch Mittel zur Registrierung der von den einzelnen Verarbeitungsprozessoren (CPU0 bis CPU_{P-1}) mitgeteilten Unterbrechungsbereitschaft und
- durch Mittel zur Überprüfung der Unterbrechungsanforderungen auf ihre Zustellbarkeit an einen unterbrechungsbereiten Verarbeitungsprozessor (CPU...).

11. Unterbrechungssteuerung nach Anspruch 9 oder 10, **gekennzeichnet,**

- durch zusätzliche, je virtueller Maschine (VM0 bis VMn-1) vorgesehene individuelle Speichermittel (GLM-REG...) zur gesonderten Markierung der virtuellen Maschinen (VM...), für die vorliegende Unterbrechungsanforderungen an einen ausgewählten Verarbeitungsprozessor (CPU...) weiterzuleiten sind, auch wenn dieser nicht der markierten virtuellen Maschine (VM...) zugeordnet ist,

- durch Mittel zur Entgegennahme derartiger Markierungsmittelungen von einem der Verarbeitungsprozessoren (CPU0 bis CPU_{P-1}) und zu deren Registrierung und

- durch Mittel zur Ermittlung von Unterbrechungsanforderungen für derartig markierte virtuelle Maschinen (VM...) und zur Weiterleitung dieser Anforderungen an einen der Verarbeitungsprozessoren (CPU...) unter Angabe des Identitätskennzeichens (VM_{ID}) der zugehörigen virtuellen Maschine (VM...).

12. Unterbrechungssteuerung nach Anspruch 11, **gekennzeichnet durch** individuelle Speichermittel (GLM-REG...) je virtueller Maschine (VM0 bis VMn-1) für einen nach Unterbrechungsklassen (UBK0 bis UBK7) unterteilte gesonderte Markierung.

13. Unterbrechungssteuerung nach Anspruch 11 oder 12, **gekennzeichnet durch** je Verarbeitungsprozessor (CPU...) vorgesehene Speichermittel (GLV-REG...) für die Kennzeichnung von virtuellen Maschinen (VM...), die den jeweiligen Prozessor global unterbrechen dürfen, durch Mittel zur Entgegennahme der in diesen individuellen Speichermitteln (GLV-REG) gespeicherten Information und durch Mittel zur Berücksichtigung dieser Information bei der Auswahl eines Verarbeitungsprozessors für die Zustellung einer globalen Unterbrechungsanforderung.

14. Unterbrechungssteuerung nach einem der Ansprüche 9 bis 13,

gekennzeichnet,

- durch je virtueller Maschine (VM₀ bis VM_{n-1}) individuell vorgesehene Speichermittel (SANF-REG...) zur Speicherung von durch den Hypervisor (HVP) des virtuellen Maschinensystems simulierten und von einem der Verarbeitungsprozessoren (CPU₀ bis CPU_{p-1}) übermittelten, nach Unterbrechungsklassen (UBK₀ bis UBK₇) des Ein-/Ausgabesystems (IOS) und gegebenenfalls weiteren Anforderungsklassen für sonstige asynchrone Unterbrechungsanforderungen bei entsprechender Erweiterung der Unterbrechungsmaske unterteilten Unterbrechungsanforderungen (SANF) und
- durch Mittel zur Überprüfung dieser Speichermittel (SANF-REG ...) auf Vorliegen einer simulierten Unterbrechungsanforderung und auf deren Zustellbarkeit anhand der vorliegenden Unterbrechungsmaske (UM) an den der zugehörigen virtuellen Maschine (VM...) zugeordneten Verarbeitungsprozessor (CPU...).

15. Unterbrechungssteuerung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, **dadurch gekennzeichnet,** daß die einzelnen Speichermittel aus Registern bestehen, in denen jeder Unterbrechungsklasse (UBK₀ bis UBK₇) und gegebenenfalls jeder weiteren Anforderungsklasse bzw. jeder virtuellen Maschine (VM₀ bis VM_{n-1}) jeweils eine Bitstelle zugeordnet ist.

16. Unterbrechungssteuerung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, **gekennzeichnet durch Mittel** zur Abfrage und/oder Löschung von Unterbrechungsanforderungen für eine vorgegebene virtuelle Maschine (VM...) durch einen Verarbeitungsprozessor (CPU...), auch wenn dieser nicht unterbrechungsbereit ist.

40

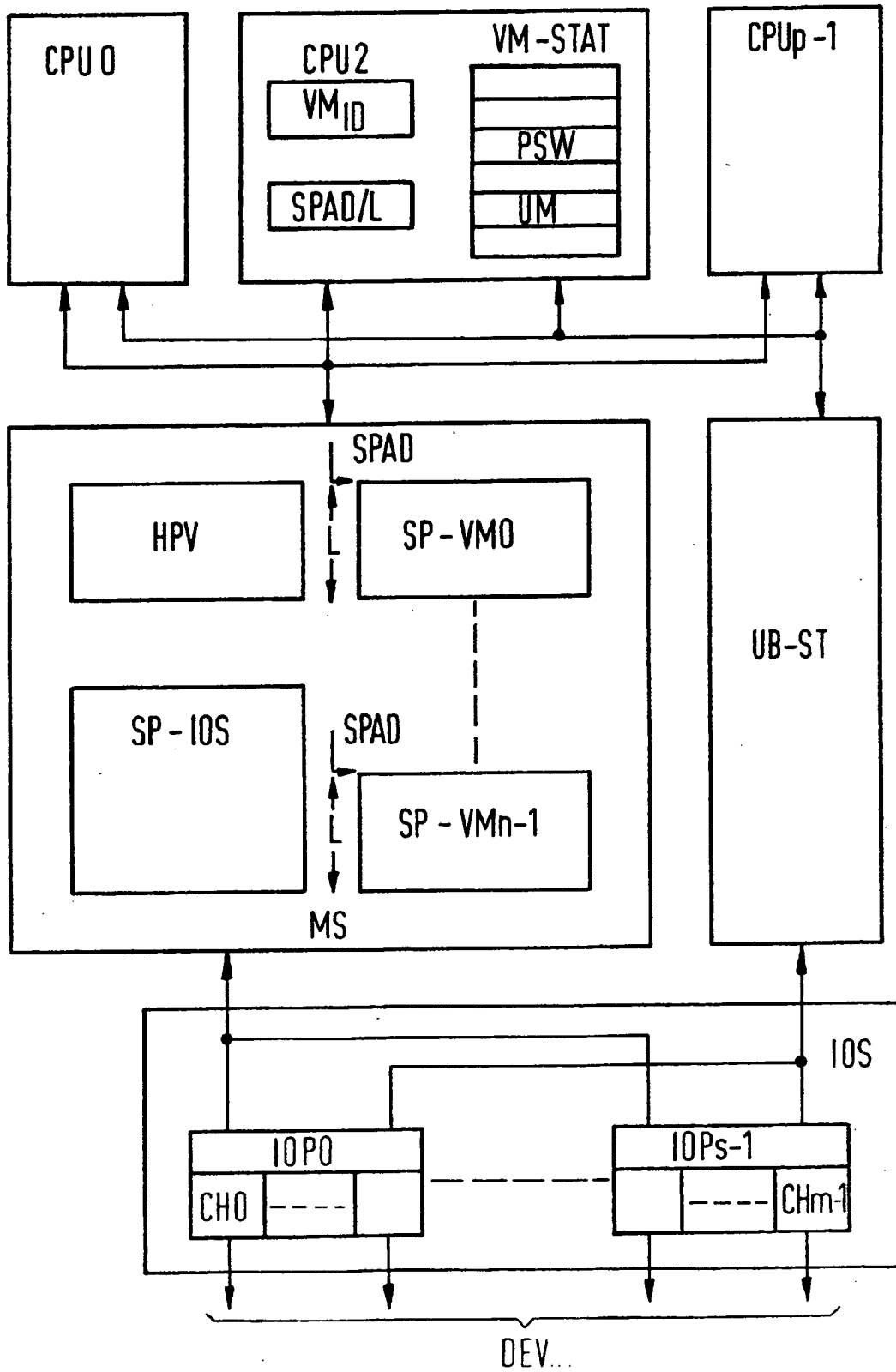
45

50

55

10

FIG1



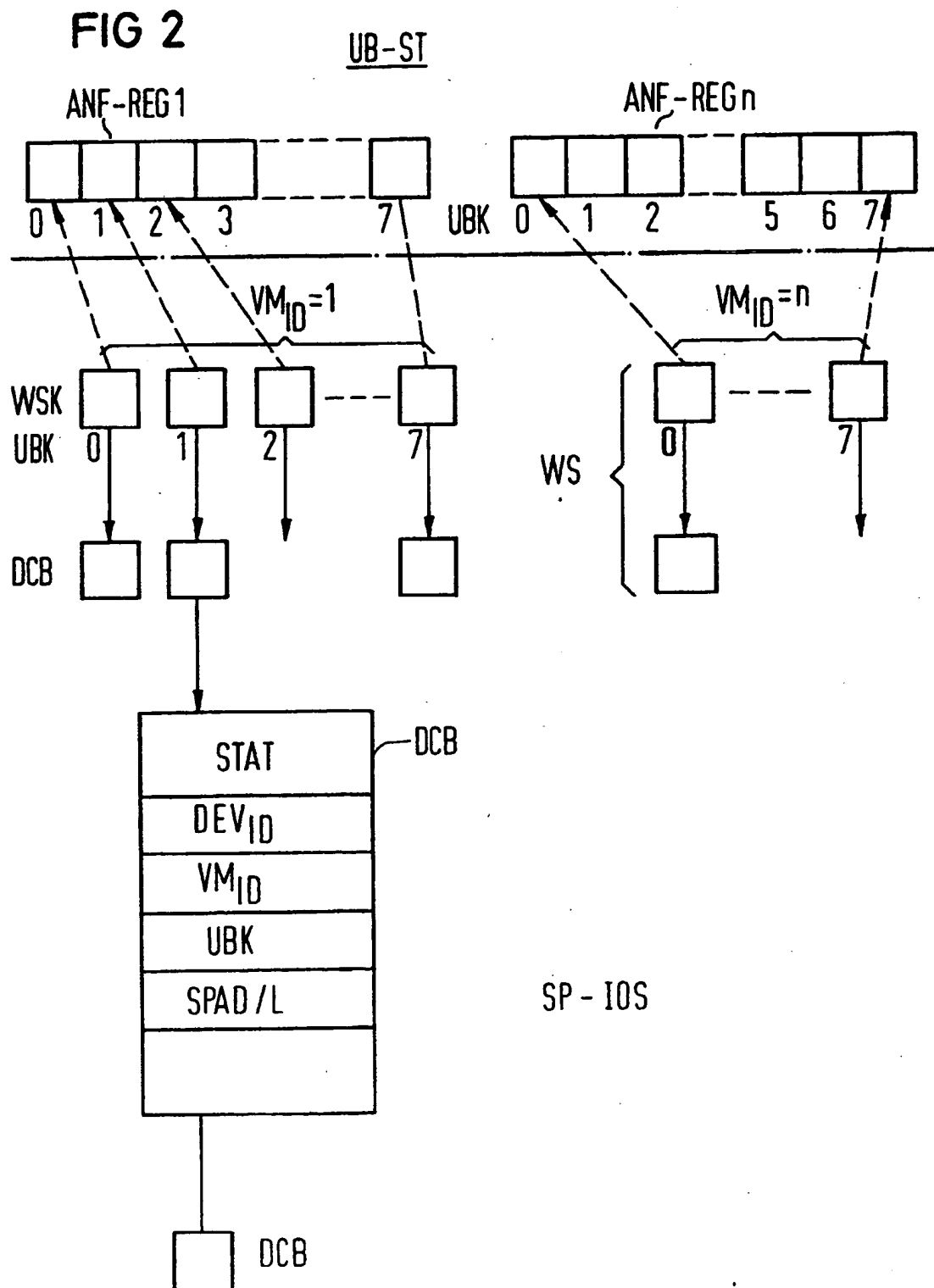


FIG 3

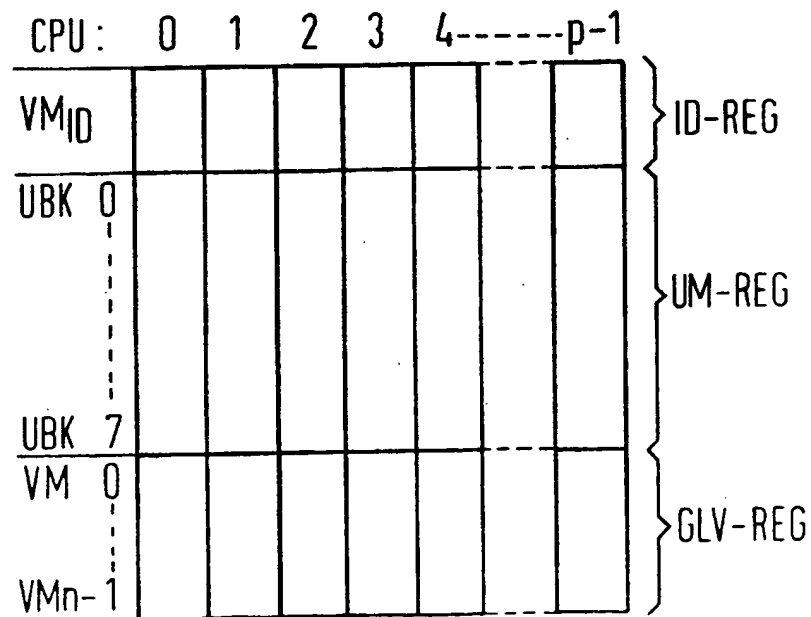
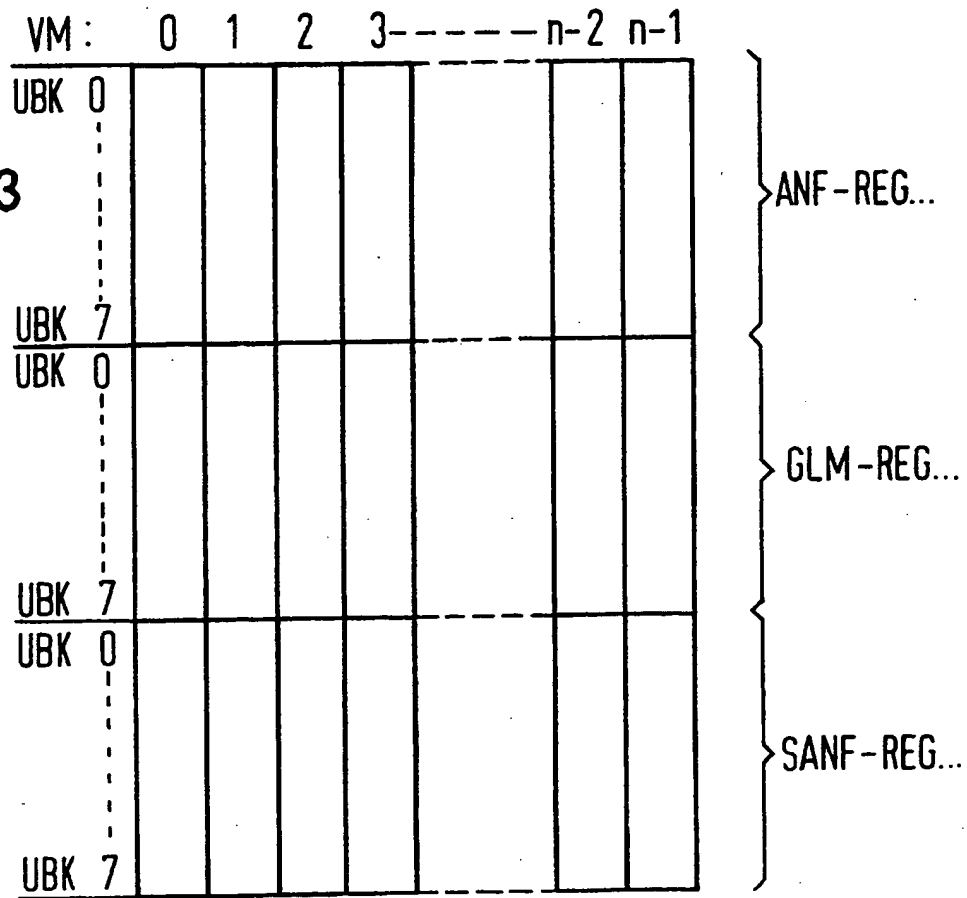


FIG 4

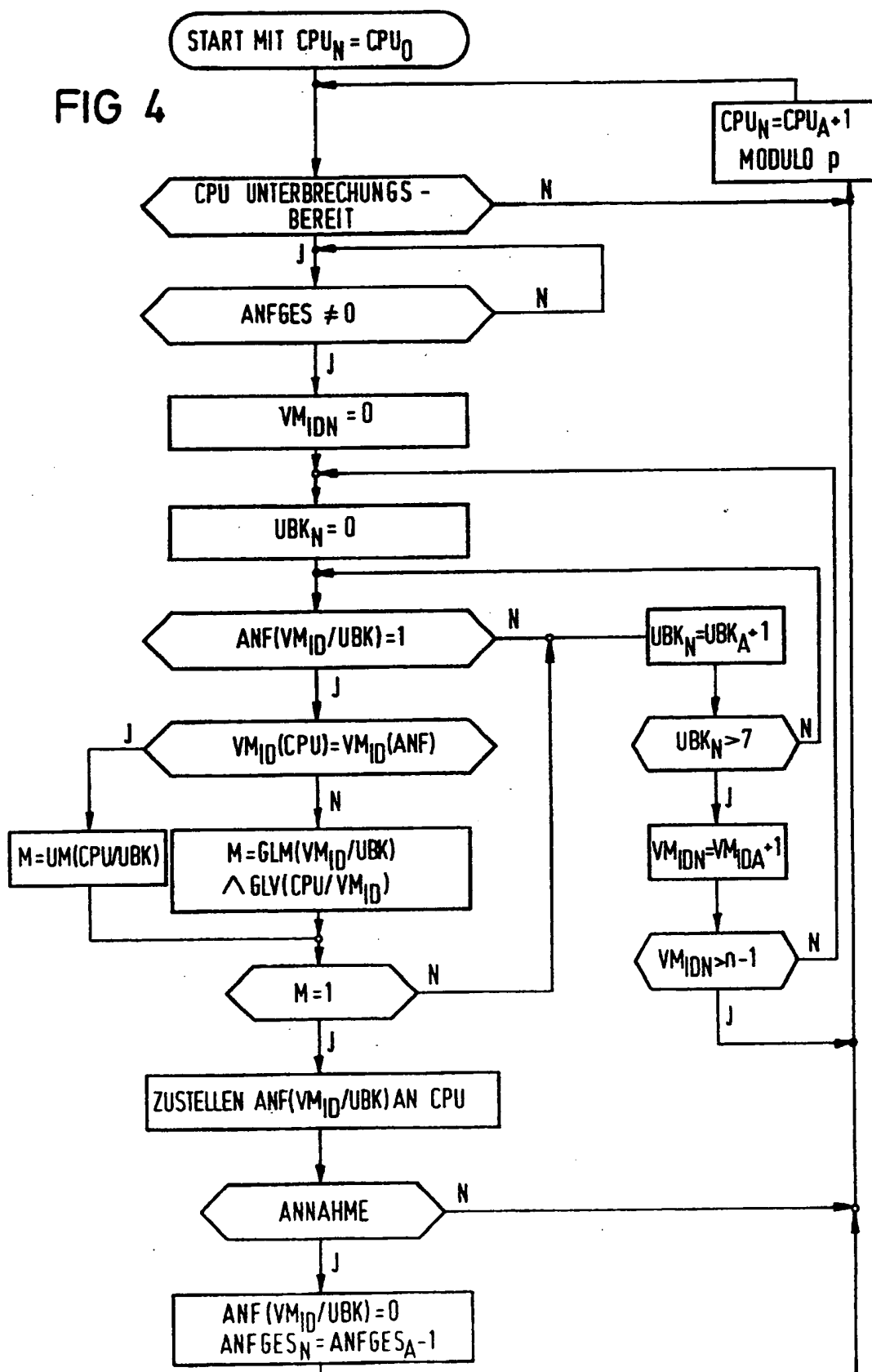
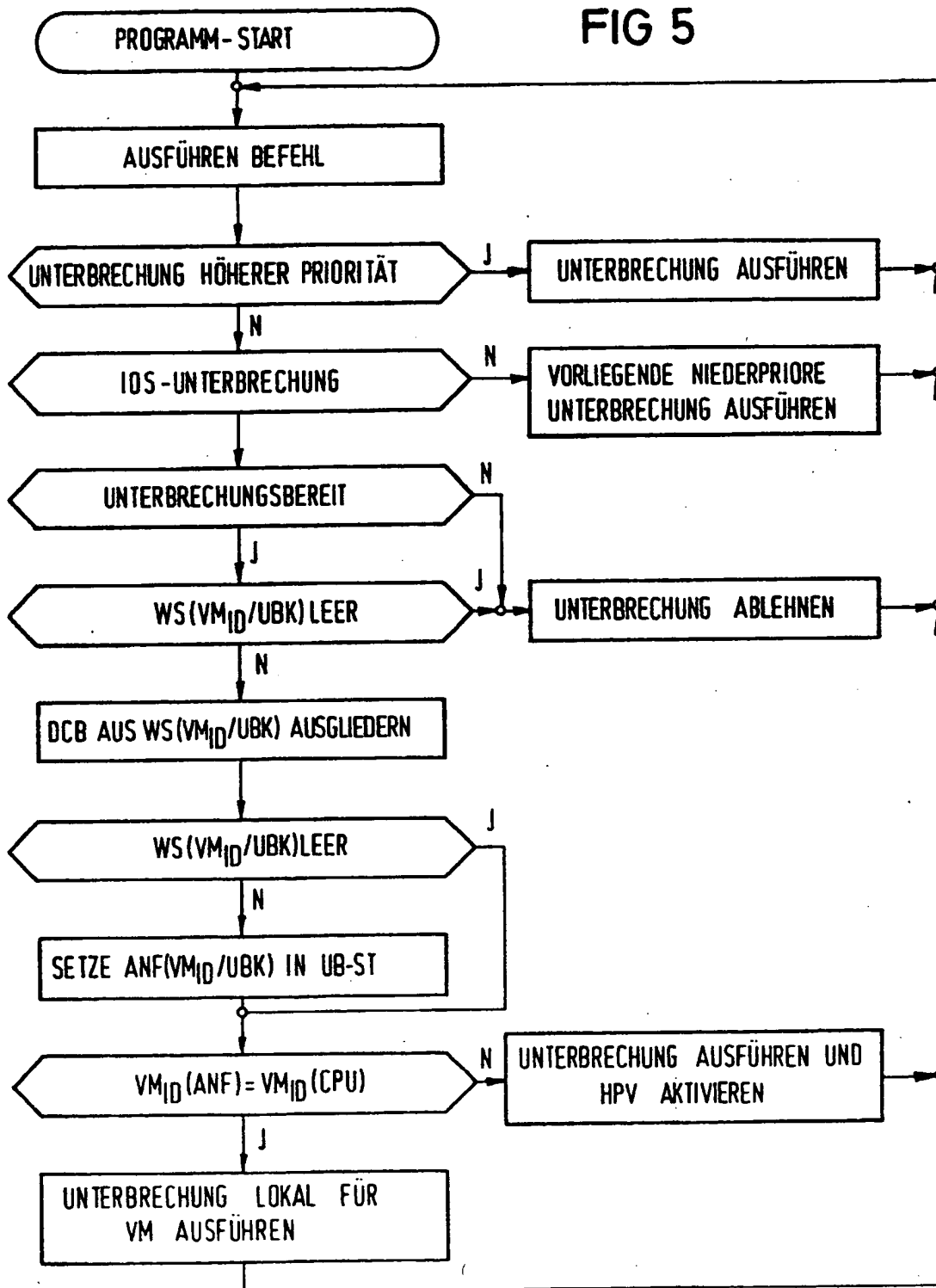


FIG 5





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 89 11 8082

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. CL.5)
Y, D	EP-A-0 213 952 (FUJITSU LTD) * Spalte 1, Zeile 47 - Spalte 2, Zeile 26; Bild 3 *	1, 2, 9, 10	G 06 F 13/10 G 06 F 13/24
Y	GB-A-1 145 806 (SPERRY RAND CORP.) * Seite 2, Zeile 102 - Seite 3, Zeile 35; Bild 1 *	1, 2, 9, 10	
Y	US-A-4 001 783 (MONAHAN et al.) * Spalte 2, Zeile 36 - Spalte 3, Zeile 22; Bild 1 *	1, 2, 9, 10	
Y	WO-A-8 202 442 (HARRIS CORP.) * Seite 2, Zeile 27 - Seite 3, Zeile 34; Bild 1 *	1, 2, 9, 10	
A	EP-A-0 210 640 (HITACHI LTD) * Seite 3, Zeile 21 - Seite 4, Zeile 2; Bild 2 *	8, 14	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. CL.5)
			G 06 F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 28-05-1990	Prüfer NYGREN P.P.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	